

Motoren und Getriebe bei Traktoren

Roger Stirnimann, Karl Theodor Renius, Marcus Geimer

Kurzfassung

Die Traktorentwicklung wird weiterhin stark von der EU-Abgasgesetzgebung geprägt. Auch 2020 stellten die Hersteller deshalb neue Baureihen mit Stufe-V-Motoren vor, wenngleich Fristen verlängert wurden. Die von den oberen Leistungsklassen her bekannten Abgasnachbehandlungssysteme werden auch ab 56 kW Standard. Alternative Antriebe stehen in Forschung und Industrie stark im Fokus, vor allem bezüglich elektrischer Komponenten. Batteriegetriebene Fahrtriebe gibt es noch nicht in Großserie, sie sind aber im unteren Leistungsbereich angekündigt, vorzugsweise mit mechanisch schaltbaren Fahrbereichen. Massey Ferguson stellte für die Traktorbaureihe 8S zwei neue Stufengetriebe vor, das 7-fach-Teillastschaltgetriebe Dyna-7 und das 28/28-Volllastschaltgetriebe Dyna E-Power. Beide Versionen werden in Form von Getriebeplänen dargestellt und diskutiert. Das Marktangebot an Stufenlosgetrieben wurde weiter ausgebaut, grundlegende Neuentwicklungen wurden aber nicht bekannt.

Schlüsselwörter

Dieselmotor, Emissionen, Getriebe, alternative Antriebe, Elektrik, Wirkungsgrad

Tractor Engines and Transmission

Roger Stirnimann, Karl Theodor Renius, Marcus Geimer

Abstract

Tractor development continues to be strongly influenced by EU emission legislation. In 2020, manufacturers therefore continued to introduce new series with Stage V engines, although deadlines were extended. The exhaust after treatment systems as known from the upper power classes will also become standard from 56 kW upwards. Alternative drive systems are a strong focus in research and industry, especially with regard to electrical components. Battery-powered traction drives are not yet in large-scale production, but they have been announced in the lower power range, preferably with mechanically shifted drive ranges. Massey Ferguson introduced two new stepped transmissions for the 8S tractor range, the Dyna-7 with 7 power shifted speeds and the 28/28 Dyna E-Power full power shift transmission. Both versions are presented and discussed by transmission maps. The market offer of continuously variable transmissions was further expanded, but no fundamental new developments were announced.

Keywords

Diesel engine, emissions, transmission, alternative drives, electrics, efficiency

Dieselmotoren

Die Dieselmotorenentwicklung wird weiterhin stark von der Abgasgesetzgebung geprägt. Obwohl neue Traktoren in Abhängigkeit der Leistungsklasse seit 1. Januar 2019 resp. 2020 die Grenzwerte der Abgasstufe V einhalten müssen, **Tabelle 1**, durften im Berichtszeitraum weiterhin Motoren der vorhergehenden Abgasstufen verbaut werden. Ermöglicht wird dies durch die Sonderregelungen für sogenannte Übergangsmotoren, die vor den oben genannten Fristen hergestellt wurden. Nach der bisherigen „Roadmap“ hätten solche bis zum 30. Juni 2020 resp. 2021 in Traktoren verbaut und diese dann bis zum 31. Dezember 2020 resp. 2021 verkauft werden dürfen. Auf Grund von Covid-19 gelten die Stichtage 30. Juni und 31. Dezember 2021 jetzt aber nicht nur für die beiden Leistungsklassen $56 \text{ kW} \leq P < 75 \text{ kW}$ und $75 \text{ kW} \leq P < 130 \text{ kW}$, sondern auch für die übrigen bisher reglementierten Klassen.

Tabelle 1: Fristverlängerungen für das Inverkehrbringen von Traktoren mit Übergangsmotoren

Table 1: Extension of the deadlines for the placing on the market of tractors with transitional engines

Leistungskl. / power cl.	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023ff
0 kW < P < 8 kW	Keine Reglem. / no reglem.				Stufe / stage V				
8 kW ≤ P < 19 kW	Keine Reglem. / no reglem.				Stufe / stage V				
19 kW ≤ P < 37 kW	Stufe / stage IIIA						neu	Stufe / stage V	
37 kW ≤ P < 56 kW	Stufe / stage IIIB								neu
56 kW ≤ P < 75 kW	Stufe / stage IV								
75 kW ≤ P < 130 kW	Stufe / stage IV								
130 kW ≤ P ≤ 560 kW	Stufe / stage IV								neu
P > 560 kW	Keine Reglem. / no reglem.						Stufe /stage V		
© Stirnimann									

© Stirnimann

Nichtsdestotrotz wurden im Berichtsjahr erneut viele Traktorbaureihen mit Abgasstufe-V-Motoren vorgestellt, insbesondere in den für Schmalspurtraktoren und kompakte Standardtraktoren relevanten Leistungsklassen, in welchen bisher oft noch Abgasstufe-IIIB-Aggregate verbaut wurden (diese galten u. a. für Traktoren mit T2-Homologation ebenfalls als Übergangsmotoren).

Common-Rail-Einspritzung, Vierventiltechnik, Turbolader, Ladeluftkühlung und elektronische Motorsteuerung stellen weiterhin die motortechnischen Grundpfeiler dar, um den Anforderungen an Leistung, Verbrauch und Emissionen gerecht zu werden. Die Abgasnachbehandlungssysteme Dieselloxidationskatalysator (DOC), Dieselpartikelfilter (DPF) und Selektive Katalytische Reduktion (SCR) gehören jetzt auch in den unteren Leistungsklassen (ab 56 kW) zur „Grundausrüstung“, weshalb auch der Trend zu kompakteren Einheiten anhält. Unter 56 kW ist die Stufe V ohne SCR erfüllbar, Überschreitungen dieser Grenze bedeuten einen Kostensprung. Betreffend Abgasrückführung (AGR) als innermotorische Maßnahme zur Verminderung der Stickoxidbildung werden nach wie vor zwei Strategien verfolgt: mit oder ohne AGR. Bei genauerer Betrachtung der Motorenpaletten fällt aber auf, dass die meisten Hersteller eine „Mischstrategie“ verfolgen. Traktormotoren werden zunehmend mit elektronisch geregelten Visco-Lüftern und automatischen Systemen für den Ventilspielausgleich ausgestattet.

Einige Hersteller versuchen in ihren Verkaufsunterlagen den Begriff „Partikelfilter“ zu vermeiden und verwenden für die teilweise mit speziellen Beschichtungen versehenen DPF stattdessen Bezeichnungen wie „Rußkatalysator“. Dahinter stehen aber immer geschlossene Partikelfiltersysteme. Mit den Beschichtungen wird eine möglichst langanhaltende passive Regeneration durch Stickstoffdioxid (NO₂) im Abgas bei Temperaturen ab ca. 250 °C angestrebt, um die Anzahl an aktiven Regenerationen durch Einbringen von Treibstoff in den Abgasstrang (oder eine späte Nacheinspritzung in den Brennraum) zu vermindern.

John Deere kündigte einen neuen 6-Zylinder-Motor mit 18 l Hubraum an (Leistung bis 650 kW). Als Abgastechnologien sind AGR, DOC, DPF und SCR vorgesehen, aufgeladen wird der Motor über einen seriellen Turbolader. Wie beim bisherigen Top-Aggregat mit 13,6 l Hubraum kommt auch hier ein automatischer, hydraulischer Ventilspielausgleich zur Anwendung. Geplanter Serienstart: 2022 [1].

Kubota kündigte mit dem S7509 ebenfalls einen neuen Motor an (7,5 l Hubraum, Leistung bis 228 kW). Damit wird der Hersteller ab 2023 erstmals 6-Zylinder-Aggregate anbieten und die aktuelle 09er-Serie nach oben erweitern (V4309 und V5009 mit 4,3 resp. 5,0 l Hubraum). Die Grenzwerte der Abgasstufe V sollen auch hier mit AGR/DOC/DPF/SCR eingehalten werden, ein automatischer Ventilspielausgleich ist ebenfalls vorgesehen [2].

Bereits vor einem Jahr stellte Cummins die speziell für Traktoren entwickelten Motoren F3.8 und F4.5 (Abgasstufe V, 67-147 kW) mit Single-Modulen für DOC, DPF und SCR vor (keine AGR). Neben dem B6.7 mit sechs Zylindern (Einbau in den nordamerikanischen Baureihen Versatile Nemesis und Kubota M8) bietet der Hersteller damit neu auch „structural engines“ mit 4-Zylindern für Blockbauweise an [3].

Der Serienanlauf des auf der Agritechnica 2019 vorgestellten Traktors New Holland T6.180 Methane Power mit 6-Zylinder-Gasmotor (Otto-Verfahren) wird voraussichtlich 2022 sein. Mit [4] erschien eine Übersicht über alternative Antriebssysteme bei Landmaschinen. Straßenfahrzeuge spielen bezüglich Einsatz von Brennstoffzellen derzeit eine Vorreiterrolle, in der zweiten Jahreshälfte 2020 wurden in der Schweiz beispielsweise 50 schwere Lastwagen mit Brennstoffzellenantrieb des koreanischen Herstellers Hyundai in Betrieb genommen (XCIENT). Hier werden zwei Brennstoffzellen-Stacks mit je 95 kW, eine Traktionsbatterie mit 73,2 kWh, eine E-Maschine als Zentralmotor (350 kW) und ein 6-Gang-Automatikgetriebe miteinander kombiniert. In sieben Gasbehältern können 32 kg Wasserstoff mitgeführt werden (nutzbare Menge bei 350 bar), womit selbst im Anhängerzugbetrieb Reichweiten von mehreren hundert Kilometern möglich sind. Alternative Antriebskonzepte und eine nachhaltige Bewertung der CO₂-Emissionen am Beispiel von Baumaschinen wurden in [5] veröffentlicht. Zu einem vergleichbaren Ergebnis in Bezug auf eine CO₂-neutrale Antriebstechnologie für Landmaschinen kommt der Verfasser von [6].

Gestufte Fahrtriebe

Massey Ferguson stellte mit der Traktor-Baureihe 8S die neuen Teil- und Volllastschaltgetriebe Dyna-7 resp. Dyna-E-Power vor. Beide kommen vom französischen Zulieferer GIMA und basieren auf dem bekannten Dyna-6-Getriebe (baugleich mit Hexashift von Claas [7]), bei

dem sechs Lastschaltstufen mit drei hintereinander angeordneten Planetensätzen realisiert werden. Von den acht theoretisch möglichen Schaltkombinationen werden jetzt sieben genutzt (mit angepassten Zähnezahlen). Beim Dyna-7 ergibt sich in Kombination mit vier synchronisierten Gruppenstufen ein 7-fach-Teillastschaltgetriebe mit 28/28 Gängen (V/R). Das Dyna-E-Power weist die gleiche Planetengetriebebestruktur auf, beim lastschaltbaren Gruppengetriebe mit Doppelkupplungstechnik gibt es hingegen eine zusätzliche Welle, **Bild 1**. Hieraus resultiert ein Volllastschaltgetriebe mit ebenfalls 28/28 Gängen (V/R). Durch das versetzte „Über-einanderlegen“ der beiden Gruppen B und C können die Stufensprünge von rund 1,18 im Geschwindigkeitsbereich von 7,4 bis 24 km/h durchgängig auf rund 1,085 halbiert werden, was einer sehr feinen Stufung entspricht. Interessant ist dabei die Realisierung der kleinen Stufensprünge über die Gruppenschaltung (Hin- und Herschalten zwischen B und C). Genutzt wird diese Schaltabfolge nur im Automatikmodus, im manuellen Modus wird die Gruppe B (mit Ausnahme von Gang B1) ausgelassen, um ein zügiges Hoch- und Herunterschalten zu ermöglichen. Hier stehen deshalb „nur“ 22 Gänge zur Verfügung.

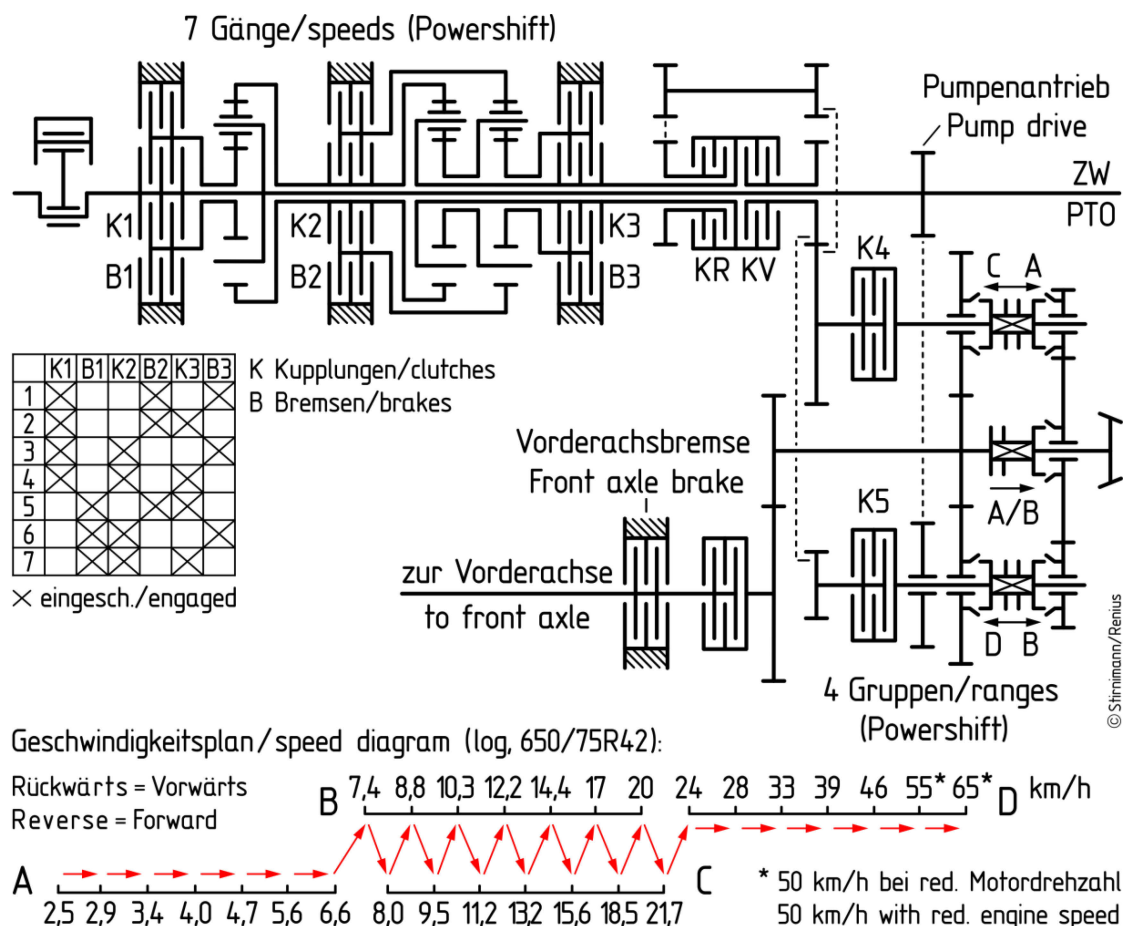


Bild 1: Neues 28/28-Volllastschaltgetriebe Dyna E-Power von Massey Ferguson mit Doppelkupplungstechnik im Gruppengetriebe. Geplanter Serienstart: 2021

Figure 1: New full powershift transmission 28/28 Dyna E-Power from Massey Ferguson with dual clutch technology in the range gearbox. Planned start of series production: 2021

Beim Dyna-7 ist die Schaltabfolge „konventionell“, durch die Gruppenüberlappungen steht im mittleren Geschwindigkeitsbereich aber auch hier eine große Anzahl an gut verteilten Nennfahrgeschwindigkeiten zur Verfügung, **Bild 2**. Der optional verfügbare Kriechgang wird neu zwischen dem 7-fach-Lastschaltmodul und dem Gruppengetriebe angeordnet und ist nicht mehr als Planetengetriebe ausgeführt (wie bisher beim Dyna-6), sondern als Vorgelege. Modifiziert wurde auch die Struktur des Gruppengetriebes. Beide Getriebeversionen sind exklusiv für Massey Ferguson vorgesehen.

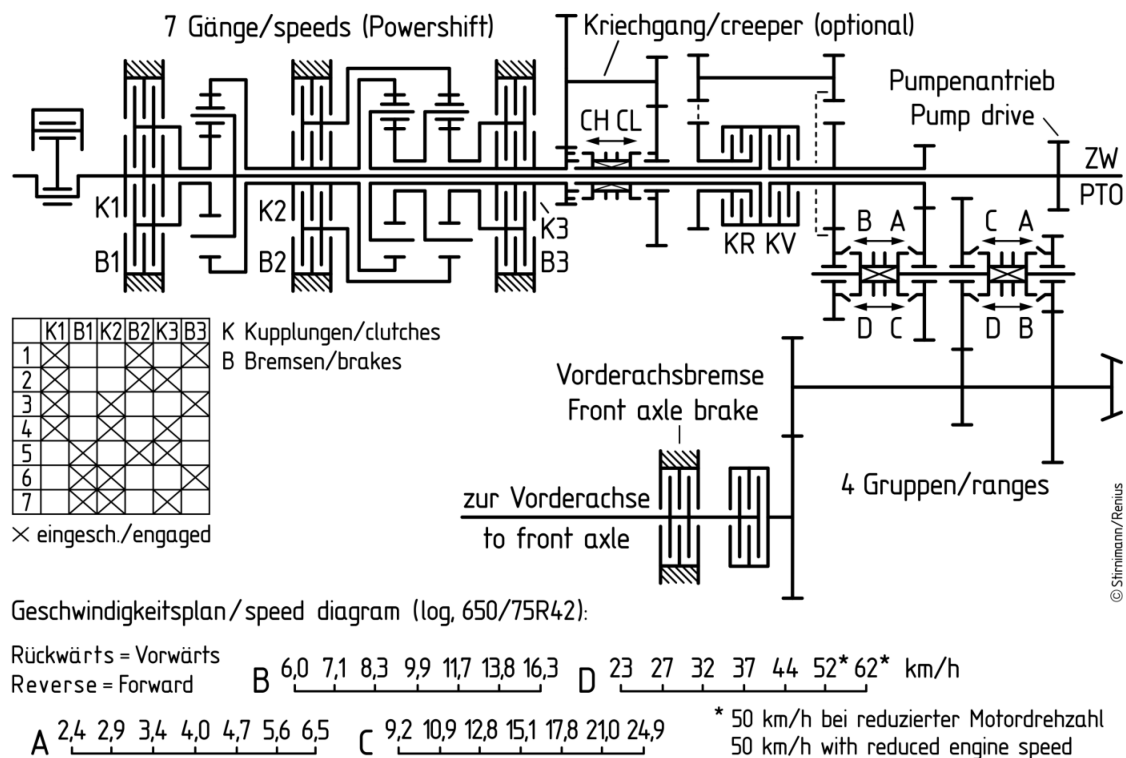


Bild 2: Überarbeitetes Teillastschaltgetriebe Dyna-7 mit sieben Lastschaltstufen und 28/28 Gängen (V/R) von Massey Ferguson. Serienstart geplant 2021

Figure 2: Revised partial power shift transmission Dyna-7 with seven power shifted speeds and 28/28 gears (F/R) from Massey Ferguson. Start of series production scheduled for 2021

Das heutige Marktangebot an Teillastschaltgetrieben beinhaltet damit eine „durchgängige“ Anzahl an Lastschaltstufen von zwei bis acht (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8). Das von Same 1990 vorgestellte 9-fach-Lastschaltgetriebe wurde 2012 durch eine Weiterentwicklung mit zwölf Lastschaltstufen abgelöst (SMARTronic [8]), seit der Einführung der Serien 6 und 7 von Deutz-Fahr (und entsprechender Schwestermodelle von Lamborghini) mit TPT-Getrieben von ZF (sechs Lastschaltstufen) wird dieses aber nicht mehr angeboten. Einen Übersichtsbeitrag über aktuelle Lastschaltgetriebeentwicklungen gab es in [9].

Hydrostatisch-stufenlose Fahrtriebe

Same Deutz-Fahr bietet das für Schmalspurtraktoren im eigenen Haus entwickelte und gebaute Stufenlosgetriebe T3500 CVT mit hydrostatisch-mechanischer Leistungsverzweigung

neu auch für die Standardtraktoren-Baureihe Deutz-Fahr 5D TTV an. Dieses weist die gleiche Grundstruktur auf wie das in der Baureihe 6 TTV sowie in den entsprechenden Modellen der Schwestermarken verbaute T5400 CVT. Eine Vereinfachung betrifft den Verzicht auf die vorwählbare Straße-Feld-Übersetzungsstufe und die Lamellenkupplung am Getriebeeingang. Beim neuen Modell 8280 TTV setzt Deutz-Fahr auf das stufenlose Getriebe T7780 TTV mit zwei Fahrbereichen (einer in Compound-Konfiguration). Kernkomponenten stammen von einem Zulieferer – weitere Informationen sind derzeit noch vertraulich.

In [10] und [11] gab es eine aktuelle System-/Marktübersicht über hydrostatisch-mechanisch leistungsverzweigte Stufenlosgetriebe (zwei Teile).

Unterschiedliche automatisierte Bremssysteme für eine Traktor-Anhänger-Kombination wurden in [12] untersucht. Eine spezielle automatische Bremsung des Anhängers ist bei CVT-Getrieben deswegen notwendig, weil der Bediener den Traktor allein über die Getriebeübersetzung stark verzögern kann, ohne das Bremspedal zu betätigen.

Elektrische Antriebstechnik bei Traktoren

Elektrische Antriebe stehen nach wie vor im Fokus der Forschungsaktivitäten, erste Lösungen dürften sich demnächst am Markt etablieren. John Deere plant den Serienstart für das elektrisch-mechanisch leistungsverzweigte eAutoPowr-Getriebe mit Möglichkeit zur Abnahme von bis zu 100 kW Offboarding-Power weiterhin für Ende 2021 [13]. Auch ZF arbeitet an einem Getriebe mit elektrischer Leistungsverzweigung.

Rigitrac kündigte die Markteinführung des batterie-elektrischen Traktors SKE 40 Electric mit 40 kW Fahrtriebsleistung für 2021 an. Primäre Zielgruppe sind vorerst Kommunen, weshalb das Serienmodell gegenüber dem vor zwei Jahren vorgestellten Prototyp SKE 50 Electric kompakter ist. Die 50 kWh-Lithium-Ionen-Batterie ist zwischen den Achsen unterhalb der Kabine angeordnet. Über das 400 V-System werden mehrere Elektromotoren versorgt: Einer für den Fahrtrieb, je einer für die Heck- und Frontzapfwelle (variable Drehrichtung/Drehzahl) und einer für die Arbeitshydraulikpumpe (Zahnradpumpe mit variablem Förderstrom über Drehzahl). Zwischen dem zentralen Fahrtriebsmotor und der Hinterachse gibt es ein geräuschoptimiertes Spezialgetriebe mit großer, fester Übersetzungsstufe (ein Bereich, nicht schaltbar) und Abtriebswelle für den mechanischen Allradantrieb. Die Kabinenkühlung/-heizung erfolgt über ein kompaktes Wärmepumpensystem [14].

In einer Dissertation [15] wurde der Ersatz des bei äußeren Leistungsverzweigungen üblichen mechanischen Planetengetriebes durch eine interessante magnetische Einheit (als Summierung) wissenschaftlich untersucht, **Bild 3**. Das Prinzip baut auf Ideen von Atallah und Howe auf [16]. Der Antrieb erfolgt am magnetischen Rotor („Sonnenrad“), dessen Moment magnetisch auf den Stahl-Pol-Rotor („Planetenträger“) wirkt, der zusätzlich durch Magnetkräfte des verstellbaren Drehfeldes eines außen angeordneten festen Spulensystems („Hohlrad“) beaufschlagt wird. Eine Besonderheit besteht darin, dass die elektrische Zusp eisung der Leistungssummierung nicht durch einen separaten E-Motor, sondern durch das äußere Drehfeld erfolgt („integrierter E-Motor“). Versuchsergebnisse (Prototyp) und Einbaumöglichkeiten in leistungsverzweigte Gesamtstrukturen werden beschrieben.

Elektrische Anbaugeräte, wie z. B. in [17] gezeigt, sollten möglichst traktorseitig versorgt werden. Eine Normung der entsprechenden Schnittstelle erfolgte durch die AEF (Agricultural Electronics Foundation). Weitere Funktionen, wie z. B. die Kopplung von Maschinen über WLAN, werden von der AEF vorangetrieben, ebenso die Bereitstellung von ISOBUS-Ausstattungsvarianten [18; 19].

Großserieneinführungen sind bei elektrischen Fahrtrieben bisher nicht bekannt. Ihnen werden aber Chancen eingeräumt [20], vor allem wegen reduzierter oder gar keiner Abgasemissionen, zunehmender Verfügbarkeit „grünen“ Stroms, guter Wirkungsgrade und geringer Geräuschentwicklung. Ihre gute Energieeffizienz wurde z. B. in [13] mit Kennfeldern für die Hauptkomponenten belegt. Geräusche sind z. B. ein typisches Problem der Hydrostatik und erfordern gewisse konstruktive Zusatzmaßnahmen [21].

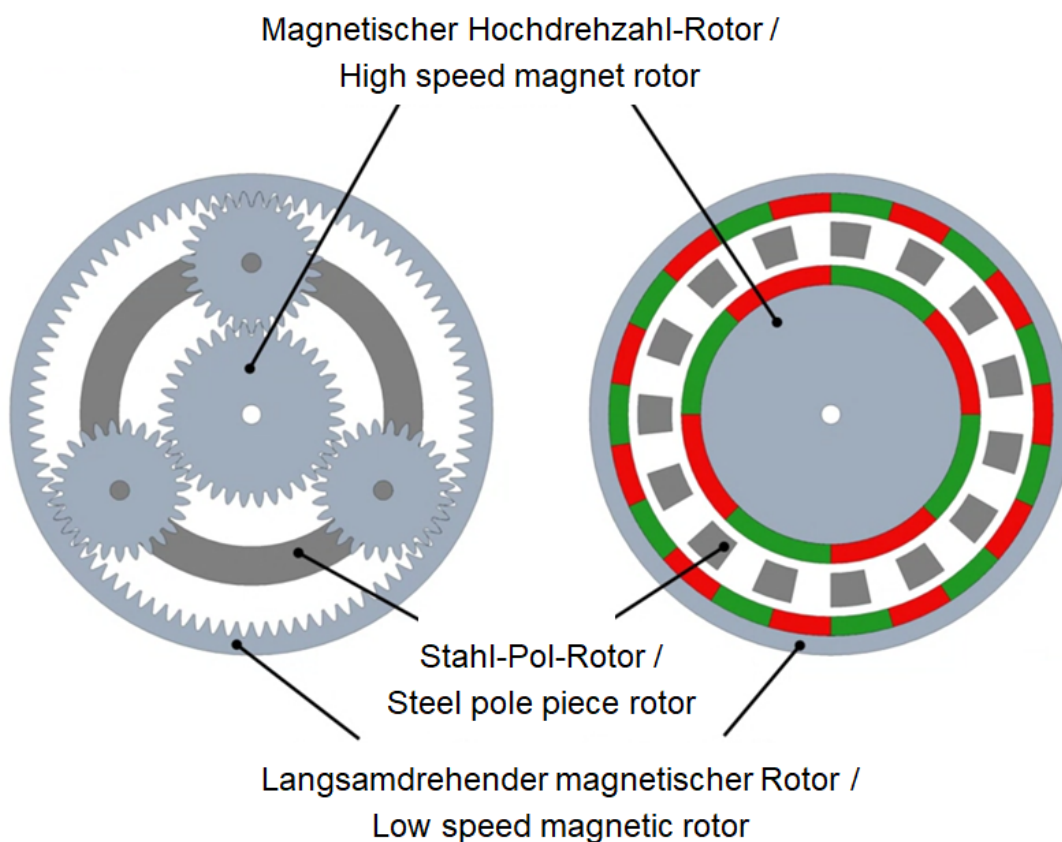


Bild 3: Ersatz eines mechanischen Dreiwellen-Planetengetriebes durch ein magnetisches Dreiwellen-System mit „verstellbarem“ Hohlrad (Drehfeld), mit Änderungen entnommen aus [15]

Figure 3: Replacement of a mechanical three-shaft planetary by a magnetic three-shaft system with „adjustable“ ring gear (rotating electric field), with modifications from [15]

Diesel-elektrische Lösungen mit Batteriestützung (serielle Hybride, wie z. B. von Steyr als Studie vorgestellt [22]), bieten Boostleistung, Rekuperation und begrenztes emissionsfreies Fahren – aber nur leichte Emissionsvorteile. Die höchsten CO₂-Einsparungen wären nach [23] und anderen Publikationen mit Brennstoffzellen und „grünem“ Wasserstoff möglich.

Steyr arbeitet bei seiner Studie mit direkten Einzelradantrieben. Frühere Untersuchungen der TU Berlin hatten allerdings gezeigt [24], dass bei stufenlosen elektrischen Traktorfahrantrieben mechanische Zusatzgetriebe mit zwei oder drei schaltbaren mechanischen Stufen die Energieeffizienz und „Reichweite“ verbessern. Gleiches wird derzeit bei elektrischen Straßenfahrzeugen diskutiert. Mechanisch schaltbare Radantriebe sind aber sehr aufwendig. In [25] wurde daher eine einfache lastschaltbare Struktur mit einem Stufenplaneten vorgeschlagen, ähnlich wie ein Teil des John Deere Power Shift von 1963 [25].

Eine solche Struktur wurde Ende 2020 von der Firma Antriebstechnik-Roth GmbH für ein elektrifiziertes Nutzfahrzeug vorgestellt [26], hier als zentrales, lastschaltbares 3-Gang-Zusatzgetriebe bei einer Nutzung nach dem Wilson-Prinzip, **Bild 4**. Im ersten Fahrbereich dient der rechte Planetensatz bei Festlegung des Hohlrades (B1) als klassische Übersetzung 5,7:1 – der linke bewegt sich ohne Last. Im zweiten Bereich ist das linke Hohlrad festgelegt (B2), der Steg treibt das Hohlrad des rechten Planetensatzes, dessen Steg summiert die Leistung von Hohlrad und Sonnenrad, Übersetzung 2,6:1. Den dritten, direkten Fahrbereich (1:1) erreicht man durch Schließen der Lamellenkupplung K.

Mit dem LS2000 hat auch die Firma Kessler ein Lastschaltgetriebe mit ähnlicher Zielsetzung entwickelt, mit aber nur zwei Gängen, Stufensprung 2,5 [27].

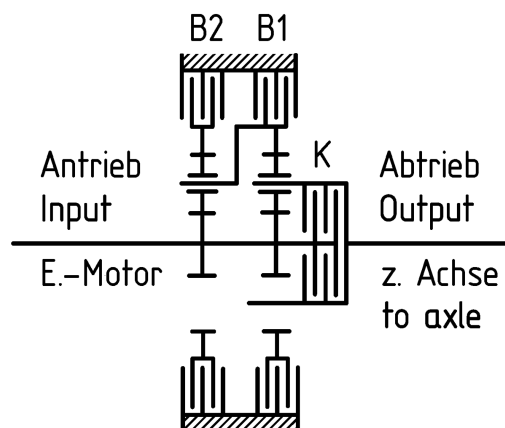


Bild 4: Dreigang-Lastschaltgetriebe der Antriebstechnik-Roth GmbH für einen zentralen elektrischen Nutzfahrzeugantrieb (Prototypen 2020) [26]

Figure 4: Three-speed power shift of Antriebstechnik-Roth GmbH for a central electric drive of a commercial vehicle (prototypes 2020) [26]

Im Projekt SESAM von John Deere, das durch eine Dissertation begleitet wurde [28], übernahm man der Einfachheit halber das ganze zentrale Schaltgetriebe und die Achsen vom Serientyp 6830, ersetzte nur den Dieselmotor und das Reversiergetriebe durch eine 130 kWh-Batterie mit DC-AC-Konvertern und zwei 140 kW-Elektromotoren (PSM) für Fahrantrieb und Zapfwelle. Trotz der vielen Fahrbereiche ergaben sich gute Wirkungsgrade.

Für große Traktoren und ihre Einsatzprofile werden die Batterien ohne Nachladen nach [29] unverhältnismäßig schwer. Nachladepausen könnte man durch Batterietausch verkürzen.

John Deere schlug mit der fahrerlosen Studie GridCON alternativ eine große Kabelrolle am Traktor mit langem Kabel und elektrischem Trafo-Feldanschluss vor [29]. Diese Idee wurde im Projekt GridCON2 verfeinert und auf einen Schwarm einfacher, aber sehr leistungsstarker autonomer Einheiten mit zentraler Energieversorgung ausgeweitet [30].

Im unteren Leistungsbereich sind Marktanforderungen bezüglich Auslastungen und Reichweiten weniger kritisch. Beim typischen Hoftraktor ist auch das Nachladen einfacher, hier setzt der Fendt e100 an. Ein verstellbarer Elektromotor treibt bei den Prototypen ein ganzes „Vario“-Getriebe an – mit Achsen und Zapfwellentechnik der 200er Reihe. Viele Gleichteile, wenig Entwicklungsaufwand und nur ein E-Motor [31]. Ob Fendt in der Serie (2023?) bei „so viel Getriebe“ bleibt, wird man sehen.

Ein elektrischer 7,5 kW-Schmalspurtraktor mit Bandlaufwerk der Jiangsu Universität (China) hat ein sehr einfaches 3-Gang-Zusatzgetriebe [32]. Für die Gewächshauslandwirtschaft reicht gemäß Einsatzerfahrungen mit einem Prototyp eine Batteriekapazität von 17,3 kWh aus. Ein 0,6 kW-Motor betätigt das Hubwerk (chinesische Komponenten). Die französische Firma Elatec stellte mit ähnlichem Ziel einen kleinen elektrisch fahrenden Geräteträger vor (max. 10 km/h) [33]. In diese Kategorie fallen auch der Solartraktor von Heinz Wegmann [34] und weitere Projekte wie z. B. „Soletrac“ (USA) oder „Farmtrac“ (Indien).

Entwicklungswerkzeuge und konstruktive Grundlagen

Für kleine Feldroboter mit Schwerpunkt Saat / Düngung / Pflege sieht man ausschließlich elektrische Fahrantriebe mit Batterien vor. Zur Abschätzung des Nutzens werden, wie auch im vergangenen Jahrbuchbeitrag [13] gezeigt, Simulationsmethoden weiterentwickelt. Eine Modellierung von Feldarbeiten eines fiktiven 200 ha Getreidebaubetriebes mit autonomen Traktoren (Level 4 / SAE J3016, Batterie 100 kWh) ergaben für 50 kW Nennleistung (inkl. Pflügen) ermutigende Ergebnisse [35].

Bei Lastschaltgetrieben ist der Schaltkomfort unter allen praktischen Bedingungen ein sehr bedeutendes Kriterium. In [36] wurden erneut Modelle für eine einfache Hi-Lo-Lastschaltung mit der bekannten Stelldrucküberschneidung beim Schalten vorgestellt und validiert. Mit steigender Gangzahl wird komfortables Schalten immer schwieriger. Daher wurden in [37] weitergehende Grundlagen für Vielgang-Volllastschaltgetriebe, die aus mehreren Gruppen bestehen, erarbeitet. Mit experimentell verifizierten Simulationen ergaben sich am Beispiel einer 16-Gang-Struktur Empfehlungen für Gruppenreihenfolge und Schaltstrategien. Im Mittelpunkt steht dabei die Gruppe mit dem größten Stufensprung. Als interessantes Nebenergebnis kam heraus, dass der Getriebewirkungsgrad bei üblichen Schaltheufigkeiten nur unwesentlich leidet – z. B. nur um ca. 0,5 % absinkt. Das Schaltverhalten stufenloser leistungsverzweigter Fahrantriebe – insbesondere beim Starten – wurde in [38] untersucht.

Zu dem bekannten, dreiteiligen Maschinenelemente-Werk von Niemann und Nachfolgern wurde Band 1 in der 5. Auflage präsentiert [39]. Inhalt: Gestaltung, Festigkeit, Verbindungen, Lager, Wellen. Betriebsfestigkeit wird hier nur sehr kurz behandelt. Strategien und Grundlagen zur Lebensdauerauslegung von Traktorkomponenten nach Lastkollektiven sind in [25] enthal-

ten – insbesondere für den Antriebsstrang. Mit [40] wurde ein Buch publiziert, das die in mobilen Arbeitsmaschinen verwendeten Technologien zeigt. Neben einer Darstellung der aktuellen Antriebstechnik werden Traktoren in einem eigenen Unterkapitel behandelt.

Zusammenfassung

Die Dieselmotorenentwicklung wird weiterhin stark von der Abgasgesetzgebung geprägt. Auf Grund von Covid-19 wurden die Fristen für den Einbau von Übergangsmotoren in drei für Traktoren relevanten Leistungsklassen um ein Jahr verlängert. Die bekannten Motor- und Abgastechnologien wurden verfeinert, auch im Hinblick auf die Unterhaltskosten. Unter 56 kW kann die EU Abgasstufe V auch ohne SCR erfüllt werden.

Intensiv weitergeforcht wurde an alternativen Antriebssystemen mit auffallend vielen Entwicklungsaktivitäten bei elektrischen Komponenten und Antriebskonzepten. Erste Serienlösungen zeichnen sich ab, rein elektrisch aber nur im unteren Leistungsbereich und hier mit dem Trend zu schaltbaren mechanischen Zusatzgetrieben.

Massey Ferguson stellte mit dem 7-fach-Lastschaltgetriebe Dyna-7 eine Weiterentwicklung des bekannten Dyna-6 und mit dem Dyna E-Power ein neues, sehr fein gestuftes 28/28-Volllastschaltgetriebe mit Doppelkupplungstechnik vor. Beide Getriebe kommen von GIMA. Das Angebot an Stufenlosgetrieben wurde weiter ausgebaut, grundlegende Neuentwicklungen wurden aber nicht bekannt.

Literatur

- [1] John Deere: John Deere Power Systems Showcases Expanding Lineup at CONEXPO. URL – <https://www.deere.com/en/our-company/news-and-announcements/news-releases/2020/engines-drivetrain/2020mar10-jdps-lineup-conexpo/>, Zugriff am 05.02.2021.
- [2] Kubota: Kubota develops large-displacement diesel engine. URL – <https://www.kubota.com/news/2020/20200302.html>, Zugriff am 05.02.2021.
- [3] Cummins: F3.8 / F4.5 Structural Engine. URL – <https://www.cummins.com/engines/f38-f45-structural-engine>, Zugriff am 05.02.2021.
- [4] Remmele, E. et al.: Alternative Antriebssysteme für Landmaschinen. KTBL-Schrift 519. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. 2020.
- [5] Ays, I.: Development of a CO₂e quantification method and of solutions for reducing the greenhouse gas emission of construction machines. Dissertation 2019, Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2020, doi:10.5445/IR/1000105772.
- [6] Kunz, A.: Alternative drives for agricultural machines – Legal frame, meaning, concepts, validation, conclusion. In: VDI-Bericht 2374, S. 405-412. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [7] Renius, K. Th.: Globale Getriebekonzepte für Traktoren (bilingual deutsch-englisch). ATZoffhighway 7 (2014) H. 2, S. 16-26 und 28-29.

- [8] Geimer, M.; Renius, K. Th. und Stirnimann, R.: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, L. (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2015. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge 2016, S. 1-10.
- [9] Stirnimann, R.: Lastschaltgetriebe: Wie sie funktionieren. Agrarheute, Sonderheft Traktoren 2021, S. 18-23.
- [10] Stirnimann, R.: (R)Evolutionäre Weiterentwicklung. Eilbote 68 (2020), H. 20, S. 8-12.
- [11] Stirnimann, R.: Die Varianten sind vielfältig. Eilbote 68 (2020), H. 21, S. 8-12.
- [12] Nadlinger, M. und Karner, J.: Investigation of tractor-trailer brake systems. In: VDI-Bericht 2374, S. 329-334. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [13] Geimer, M.; Renius, K. Th. und Stirnimann, R.: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2020. S. 1-10.
- [14] Rigitrac Traktorenbau AG: Rigitrac SKE 40 Electric. URL – <https://www.rigitrac.ch/produkte-1/rigitrac-ske-40-electric/>, Zugriff am 05.02.2021.
- [15] Lang, M.: Konzeption und Analyse einer magnetisch-elektrisch leistungsverzweigten Umlaufgetriebestufe zum Einsatz in einem landwirtschaftlichen Fahrzeug. Dissertation TU Berlin 2020.
Auszug in: Lang, M.: Design and analysis of a magnetic-electric power split gearbox for application in an agricultural vehicle. In: VDI Bericht 2374, S. 17-22. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [16] Atallah, K. und Howe, D.: A novel high-performance magnetic gear. IEEE Transactions on Magnetics 37 (2001) H. 4, S. 2844-2846.
- [17] Pußack, M.; Stasewitsch, I. und Frerichs, L.: Investigation of a cutter bar operated in resonance mode with an electric direct drive. In: VDI-Bericht 2374, S. 151-156. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [18] Gorius, M. et al.: AEF Wireless In-Field Communication – Agrarian M2M communication for inter brand cooperative machine applications. In: VDI-Bericht 2374, S. 157-165. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [19] Klöpper, B.: New INFO Feature under AEF development. In: VDI-Bericht 2374, S. 175-185. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [20] Kunz, A.: Alternative drives for agricultural machines. In: VDI-Berichte 2374, S. 405-412. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [21] Pasch, G. und Jacobs, G.: NVH System Simulation of a Tractor with Hydrostatic-Mechanical Power Split Transmission. Landtechnik 75 (2020) H. 4, S. 301-315.
- [22] N.N.: Projektstudie schafft Grundlagen für nächste Traktorgeneration. Mobile Maschinen 13 (2020) H. 4, S. 10-11.
- [23] Pretsch, S. und Rothbart, M.: Sustainable Agriculture in an Electrified World. Crade-to-grave evaluation of different propulsion systems. In: VDI-Berichte 2374, S. 1-8. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.

- [24] Klimententew, L., Krüger, J. und Meyer, H. J.: Einflussfaktoren des Getriebes auf die Effizienz elektrischer Traktionsantriebe. *Landtechnik* 68 (2013) H. 2, S. 130-134.
- [25] Renius, K. Th.: *Fundamentals of Tractor Design*. Cham/Schweiz: Springer 2019.
- [26] Roth, A., Brinkmann, D. und Puls, C.: Development of a three-speed gearbox in electric power train. In: *VDI Bericht 2374*, S. 23-29. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
- [27] Information der Firma Kessler & Co, Abtsgmünd 2020.
- [28] Kegel, V.: *Batterieelektrischer Traktor*. Dissertation TU Berlin 2017. Düren: Shaker Verlag 2018.
- [29] Pickel, P.: Electricity for tractors and tractor-implement systems. Club of Bologna, 29. Meeting Hannover 10.-11.11.2019. clubofbologna.org.
- [30] Pfaffman, S. et al.: Swarm Unit. Development of a Fully Electric Agricultural Machine with External Power Supply. In: *VDI-Berichte 2361*, S. 401-407. Düsseldorf: VDI Verlag 2019.
- [31] N.N.: AGCO-Fendt: Pressemitteilung zum Traktor e100, Status 2020. URL – <https://www.fendt.com/de/fendt-e100>, Zugriff am 05.02.2021.
- [32] Lui, J. et al.: Development and Testing of the Power Transmission System of a Crawler Electric Tractor for Greenhouses. *Applied Engineering in Agriculture* 36 (2020) H. 5, S. 797-805.
- [33] N.N.: Elektrischer Spezial-Traktor. *Profi* 32 (2020) H. 12, S.125.
- [34] Notiz in *Top Agrar* 49 (2020) H. 11, S. 110. Siehe auch: www.solar-traktor.de.
- [35] Lagnelöv, O. und Hansson, P.-A.: Understanding the opportunities and challenges of self-driving electrical field tractors using dynamic discrete-event simulation. In: *VDI-Berichte 2374*, S. 9-15. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.
Siehe hierzu auch Aufsatz (open access) in *Biosystems Engng.* 194 (2020) S.121-137.
- [36] Xia, G. et al.: Power Shift Control of High-Power Tractor Based on Pattern Search. *Applied Engineering in Agriculture* 36 (2020) H. 4, S. 565-578.
- [37] Birkmann, C.: *Lastschaltvorgänge in Mehrfachgruppengetrieben für Standardtraktoren*. Dissertation TU Braunschweig 2020. Forschungsberichte IMN. Düren: Shaker Verlag 2020.
- [38] Wang, G. et al.: Shift quality of tractors fitted with hydrostatic power split CVT during starting. *Biosystems Engineering* 196 (2020) S. 183-201.
- [39] Niemann, G., Winter, H., Höhn, B.-R., und Stahl, K.: *Maschinenelemente 1*, 5. Auflage. Berlin: Verlag Springer Vieweg 2019.
- [40] Geimer, M.: *Mobile Working Machines*, Warrendale, Pennsylvania (USA): SAE International 2020, doi: 10.4271/9780768099546.

Autorendaten

Dipl.-Ing. agr. FH, Dipl.-Ing. Wirtschaft FH, Executive MBA Roger Stirnimann ist Dozent für Agrartechnik an der Berner Fachhochschule.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl Theodor Renius ist Professor im Ruhestand am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München.

Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer ist Institutsleiter des Teilinstituts Mobile Arbeitsmaschinen am Karlsruher Institut für Technologie.

Bibliografische Angaben / Bibliographic Information

Wissenschaftliches Review / Scientific Review

Erfolgreiches Review am 07.02.2021

Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation

Stirnimann, Roger; Renius, Karl Theodor; Geimer, Marcus: Motoren und Getriebe bei Traktoren. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2020. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2021. S. 1-13

Zitierfähige URL / Citable URL

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202012111227-0>

Link zum Beitrag / Link to Article

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2020/chapter/motor-getriebe.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.